

Výhled rozvoje a uplatnění technologie P2G v EU

V České republice podobně jako v ostatních evropských zemích vznikají plány na rozvoj propojeného vodíkového hospodářství. Vodíkové strategie představují cíle v oblastech spotřeby vodíku, méně specifické jsou však již v oblasti jeho výroby. Využití vodíku jako nástroje pro dekarbonizaci různých odvětví našeho hospodářství vyžaduje jeho bezemisní výrobu z elektřiny z obnovitelných zdrojů. S tím se pojí potřeba masivní výstavby fotovoltaických, a hlavně větrných parků. A také technologii, které budou umět nárazovou dodávku elektřiny do sítě regulovat. K takovým patří i technologie pro ukládání elektřiny v podobě vodíku, nazývaná power-to-gas (P2G).



Michal Kocůrek

V roce 2009 absolvoval Fakultu sociálních studií na Masarykově univerzitě v Brně a o pět let později magisterský obor International Energy na Sciences Po v Paříži. V mezidobí pracoval jako analytik bezpečnostní politiky a později energetické bezpečnosti. Od roku 2016 působí v EGÚ Brno, kde se zaměřuje na sektor evropského a českého plynárenství. Věnuje se výhledům zásobování plynem z pohledu nabídky zdrojů, plynárenské infrastruktury, fungování trhu s plynem i poptávky po plynu. Zároveň se stále intenzivněji zabývá zapojením nízkouhlíkových plynů v rámci plynárenství.

Dosažení ambiciózních cílů v oblasti energetiky a klimatu, ke kterým se Evropská unie zavázala přijetím Zelené dohody, si vyžadá výraznou proměnu stávajícího energetického sektoru. Uhlíkové neutrality nelze dosáhnout pouze prostou náhradou zdrojů dnes vyrábějících energii z fosilních paliv za obnovitelné zdroje. Energetický sektor postavený na bezemisních zdrojích bude zahrnovat nové prvky řízení spotřeby a ukládání energie, především té elektrické. V tomto smyslu se klíčovými médii umožňujícím transformaci energetiky jeví vodík.

Zásadní přidanou hodnotou vodíku v procesu dekarbonizace je fakt, že jej lze bezemisně vyrábět z elektřiny z obnovitelných zdrojů. Technologie P2G umožňující elektrolytické štěpení

molekul vody na čistý vodík a kyslík má ovšem dvojitý význam pro chystanou dekarbonizaci:

- umožňuje plné využití potenciálu výroby elektřiny z fotovoltaických a větrných zdrojů tím, že případnou nadvýrobu elektřiny přesahující aktuální poptávku dokáže uskladnit ve formě molekul vodíku s relativně nízkou energetickou ztrátou,
- takto vyrobený bezemisní vodík lze využít pro náhradu paliv na bázi ropy v dopravě, uhlí či plynu pro výrobu tepla (případně i elektřiny) a také řady klíčových sloučenin v chemickém průmyslu (amoniak, metanol aj.) nebo koksu při redukci železné rudy ve vysokých pecích.

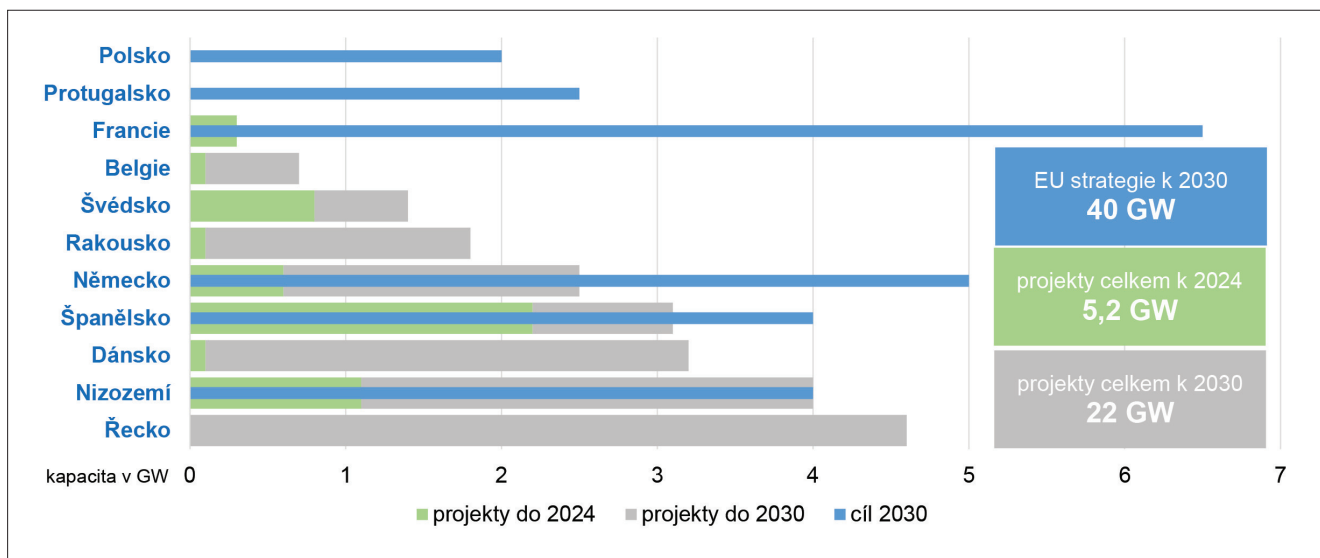
Elektrolýza vody, neboli proces P2G, se tak může stát zásadním nástrojem pro propojení

elektroenergetiky a plynárenství (tzv. sector coupling), které tímto budou fungovat v mnohem užší spolupráci a vzájemné závislosti. Plynárenství vidí navíc ve vodíku vítanou možnost zachování svých obchodních modelů a zajištění využití stávající rozsáhlé infrastruktury v budoucím plně dekarbonizovaném prostředí. Podobná symbiotická provázání se rysují také v hospodářské oblasti, kde řada technologických procesů produkuje vodík jako odpadní či vedlejší produkt.

Plány a strategie pro výrobu vodíku v EU

Vodík není pouze potenciálním energetickým nosičem usnadňujícím přechod k dekarbonizaci, ale ve srovnání se stávajícími palivy zůstává relativně náročným a komplikovaným médiem pro přepravu a uskladnění, nehledě na ekonomickou náročnost jeho výroby a nízkou konečnou energetickou účinnost při jeho zpětném využití pro výrobu elektrické energie. Pro efektivní zapojení vodíku do budoucí energetiky a hospodářství je nezbytné vytvořit smysluplný strategický rámec pro celý řetězec vodíkového hospodářství. Tyto strategie v posledních dvou letech vznikají jak na regionální, tak národní či nadnárodní úrovni.

V České republice vznikají plány na rozvoj propojeného vodíkového hospodářství v Moravskoslezském a Ústeckém kraji. V červnu roku 2021 zveřejnilo také MPO národní vodíkovou strategii. Jak národní, tak regionální strategie se relativně konkrétně věnují možnostem spotřeby vodíku. Mnohem méně adresné jsou však v návrzích či cílech jeho výroby. Opačný přístup



Obr. 1 – Kapacity elektrolyzérů v EU – srovnání národních strategií a navržených projektů
zdroj: Evropská vodíková strategie, S&P Global Platts

		cena elektřiny v EUR/MWh								
		-30	-15	0	15	30	45	60	75	90
doba využití h/rok	500	41	52	64	76	103	122	141	160	180
	1000	9	20	32	44	71	90	109	128	147
	1500	-2	10	21	33	60	79	98	118	137
	2000	-7	4	16	28	55	74	93	112	131
	2500	-11	1	13	25	51	71	90	109	128
	3000	-13	-1	11	22	49	68	88	107	126
	3500	-14	-3	9	21	48	67	86	105	125
	4000	-15	-4	8	20	46	66	85	104	123
4500	-16	-5	7	19	46	65	84	103	123	

Obr. 2 – Vliv ceny elektřiny a využití 50MW elektrolyzáru na výrobní náklady vodíku (2040)
zdroj: Store&Go, výhled cen komodit EGÚ Brno, vlastní výpočet

		2020	2030	2040	2050
PEM elektrolyzér	MW	50			
CAPEX	mil. eur/MW	0,89	0,42	0,32	0,22
energetická náročnost	kWh _{el} /m ³ _{H₂}	5,09	4,72	4,63	4,54

Tab. 1 – Výhled změny nákladů a energetické účinnosti 50MW PEM elektrolyzáru
zdroj: Store&Go

zaujala například evropská vodíková strategie, kterou představila o rok dříve Evropská komise.

Vodíková strategie EU cílí do roku 2024 na výrobu tzv. zeleného vodíku (výroba s nulovými emisemi CO₂ z OZE) ve výši 1 mil. tun. Tedy množství dosahující přibližně 10 % dnešní úrovně spotřeby vodíku v EU. K naplnění tohoto záměru mají sloužit elektrolyzéry o kapacitě 6 GW. Do konce této dekády si pak strategie klade cíl zvýšit výrobu desetinásobně a instalovaný výkon elektrolyzáru navýšit na 40 GW.

V úzkém spojení s evropskou vodíkovou strategií se objevila iniciativa evropské průmyslové asociace Hydrogen Europe, která předjímá v horizontu pěti až deseti let vybudování kapacity elektrolyzáru o velikosti 80 GW. Tato kapacita by měla být rozdělena na 40 GW umístěných v EU a 40 GW lokalizovaných v severní Africe a na Ukrajině, z čehož 32,5 GW by mělo sloužit pro výrobu vodíku na export do zemí EU.

Většina členských států od té doby již také přijala vlastní národní vodíkovou strategii, která se domácí výrobě vodíku elektrolyzou také věnuje. Například Francie očekává do roku 2030 instalaci 6,5 GW elektrolyzáru, Německo 5 GW, Nizozemí 3 až 4 GW, Španělsko 4 GW, Portugalsko 2,5 GW, Polsko 2 GW. Vedle hru-

bých, spíše politicky iniciovaných, hodnot z národních strategií ohlašují vlastní plány či návrhy projektů jednotlivé firmy působící v EU.

Podle databáze analytiků Platts se kapacita k letošnímu červenci evidovaných projektů s předpokládanou realizací do roku 2024 blíží cíli evropské vodíkové strategie (5,2 GW). Návrhy projektů, které by měly být realizovány v průběhu celé této dekády dosahují souhrnné kapacity 22 GW, čili přibližně poloviny hodnoty stanovené evropskou vodíkovou strategií pro rok 2030. Největší dnes provozovaný PEM elektrolyzáru dosahuje kapacity 10 MW s očekávanou roční produkcí až 1300 tun vodíku využitelného přednostně pro potřeby rafinérie v německé Wesselingu. Ve druhé fázi projektu REFHYNE by mělo dojít ke zvýšení kapacity elektrolyzáru na 100 MW.

Evropská komise pomocí Evropské aliance pro čistý vodík eviduje téměř 500 projektů na výrobu vodíku elektrolyzou s využitím elektřiny z obnovitelných zdrojů (bude-li k dispozici), které by mohly být realizovány do roku 2030. Mezi nejambicióznější s ohledem na velikost kapacity plánované technologie patří řecký projekt White Dragon, který počítá s výrobou 250 tis. tun vodíku v roce 2029 jako náhrady za uhlí pro výrobu elektřiny a tepla. Vodík by v tomto

případě měl být produkován elektrolyzou (potřeba téměř 5 GW výkonu elektrolyzáru) z elektřiny vyráběné pouze z obnovitelných zdrojů. Tuto podstatnou vstupní část celého projektu (instalovaný výkon obnovitelných zdrojů) jeho koordinátor (DEPA Commercial) zatím blíže nespecifikuje.

Evropské plány vyžadují bezprecedentní nárůst výroby elektřiny z OZE

Obecně lze říci, že dostupné vodíkové strategie zatím řeší přednostně množství vyrobeného vodíku a jeho různé možnosti využití. Výrazně méně je akcentována vstupní strana technologie P2G, dostupnost dostatečného množství elektřiny z obnovitelných zdrojů. Například evropská vodíková strategie předpokládá, že pro dosažení cíle 10 mil. tun vodíku v roce 2030 bude třeba vybudovat 80 až 120 GW obnovitelných zdrojů (nejlépe offshore větrných farem). Množství elektřiny takto vyprodukované však umožní výrobu maximálně třetiny plánované hodnoty i v případě, že by veškerá elektřina ze 120 GW OZE posloužila k výrobě vodíku. To znamená, že i tento relativně umírněný evropský cíl vyžaduje vybudování přibližně 350 GW větrných farem pouze k výrobě vodíku.

Pokud by se měl stát vodík v případě plnění

cíle plné dekarbonizace hlavním plynným palivem pro země EU, je nutné vzít v potaz, že zajištění jeho výroby bude vyžadovat výstavbu adekvátního množství zdrojů obnovitelné energie. Pokud bychom chtěli nahradit například stávající spotřebu fosilního zemního plynu v ČR vodíkem, bude třeba takové množství elektřiny, jaké ročně vyrobí offshore větrné elektrárny v Severním moři o kapacitě 38 GW¹, nebo fotovoltaické panely ve Španělsku o kapacitě 70 GW. Případně stejné množství bezemisní energie pro elektrolyzéry mohou dodat jaderné elektrárny o kapacitě 9 GW. Když tuto úvahu rozšíříme na celou EU s její spotřebou fosilního zemního plynu ve výši 482 mld. m³ v roce 2019, pak by bylo třeba 2 139 GW offshorových větrných elektráren, anebo 3 877 GW fotovoltaik ve Španělsku, či 507 GW jaderných elektráren, jejichž výroba elektřiny by směřovala pouze k výrobě zeleného vodíku.

V červnu 2021 zveřejněná studie společnosti Agora zaměřená na dosažení klimaticky neutrálního hospodářství v Německu k roku 2045² vyčísluje rozvoj fotovoltaiky a větrných zdrojů následovně: 385 GW (FV), 145 GW (vítr onshore), 70 GW (vítr offshore). Tedy nárůst o přibližně o 500 GW instalovaného výkonu v OZE a o více než 600 TWh vyrobené elektřiny z těchto zdrojů. Vodík by měl být v té době reálnou náhradou (byť pouze částečnou) fosilních paliv. Přibližně třetinu (asi 3 mil. tun) německé poptávky po vodíku ve výši téměř 8 mil. tun (265 TWh) by v roce 2045 měla zajistit domácí produkce s využitím 50 GW kapacity elektrolyzérů. Zbytek chce Německo dovážet ze zahraničí.

Podle této studie se německá poptávka po elektřině v roce 2045 téměř zdvojnásobí (překročí 1 000 TWh). Výrobu elektřiny budou zajišťovat takřka výhradně fotovoltaické a větrné zdroje. Na plné pokrytí vlastní poptávky po vodíku tak Německo nebude mít dostatek energie navzdory i tak bezprecedentnímu růstu instalovaného výkonu. Technologie P2G v takovém systému bude fungovat jako nástroj sezónní akumulace s možností využití vodíku jak v jiných sektorech, tak zpětně pro výrobu elektřiny (60 TWh v roce 2045 Německo vyrobí z vodíku).

Ani 50 GW elektrolyzérů nicméně při takto masivní výrobě elektřiny z OZE nedokáže zpracovat veškerou aktuálně přebytečnou elektřinu pro akumulaci. Studie přirozeně předpokládá její export, a také že 48 TWh elektřiny z OZE (přibližně 5 % veškeré výroby) bude muset být i tak zahozeno. Pokud mají tedy elektrolyzéry za cíl bilancovat elektrizační soustavu a produkovat bezemisní vodík, můžeme na základě našich výpočtů i německé studie společnosti

Agora zjednodušeně odhadovat potřebu výstavby přibližně 10 GW výkonu OZE na každý instalovaný gigawatt elektrolyzéra.

P2G zatím nemá jasný obchodní model

Technologie P2G v plánech energetických společností či strategiích národních států nefiguruje primárně jako nástroj flexibility nabízející službu pro zajištění spolehlivého provozu elektrizační soustavy tím, že odebere aktuální nadprodukt elektřiny. Investorům, většinou konsorciím firem zahrnujících celý řetězec vodíkového hospodářství, slouží P2G mnohem více jako nástroj pro výrobu vodíku. Nedostatečně dlouhá období nadprodukce elektřiny a jejich nízkých cen zatím nenabízejí pro investory vhodný obchodní model, který by dokázal přinést zisk. Elektrolyzéry i v budoucnu budou potřebovat pracovat alespoň 3 000 či 4 000 hodin v plné kapacitě, aby výsledný produkt, bezemisní vodík, mohl být za určitých podmínek konkurenceschopný.

Obrázek níže zobrazuje závislost ceny výroby vodíku v 50 MW elektrolyzérovi při různých cenách vstupní elektřiny a různé době využití elektrolyzérovi v roce 2040. Zároveň barevně odlišuje oblast, kdy je cena takto vyráběného vodíku nižší (zeleně vyznačená pole), srovnatelná (bíle) a vyšší (modře) než cena vodíku vyrobeného dnes nejběžnější cestou, parním reformingem z fosilního zemního plynu. Toto srovnání vychází poměrně výhodně pro elektrolytickou výrobu vodíku, neboť k ceně fosilního zemního plynu (21 EUR/MWh) je připočten také náklad na emisní povolenku ve výši 80 EUR/t CO₂. Z tabulky je patrné, že při ceně elektřiny nižší než 45 EUR/MWh a využitím elektrolyzérovi 3 000 a více hodin za rok, začne být elektrolytická výroba cenově výhodnější³.

Dosáhnout využití technologie napájené elektřinou z OZE po více než 3 000 hodin ročně může být poměrně komplikované. Takovou výrobu dnes zvládají pouze moderní offshore větrné farmy. Větrníky na evropské pevnině vyrábějí elektřinu v plné kapacitě většinou mezi 2 000 a 2 500 hodinami, zatímco solární panely dodávají elektřinu v plné kapacitě v rozmezí 1 000 a 1 400 hodin za rok. Naopak u jaderných zdrojů lze využít stabilní dodávku elektřiny v plné kapacitě přesahující i 7 000 hodin ročně. Z obrázku však lze také vyčíst, že případné snahy o maximalizaci využití elektrolyzérovi s jednotkovou cenou vodíku již tak výrazně nezahýbou. Hlavní rozdíly se objevují při využití 0 až 4 000 hodin.

Zároveň plné využití kapacity elektrolyzérovi v režimu téměř non-stop provozu také nemusí být ekonomicky výhodné. Klíčovým faktorem

pro výslednou cenu vodíku je cena vstupní elektřiny. Hodin se zápornou cenou elektřiny se v budoucím systému absorbujícím obrovské množství energie ze slunce a větru ve stejném čase bude objevovat pravděpodobně více než dnes (např. v Německu jsou to nižší stovky hodin ročně). Přesto výraznou většinu času budou ceny elektřiny na trhu prodávány za běžné ceny, s tím že počet záporných cen bude vyrovnávat obdobný počet cen výrazně vysokých. Non-stop provoz by takto musel akceptovat i nevýhodné ceny vstupní elektřiny.

Základní ekonomické ratio pro zavádění technologie P2G do komerčního provozu však nebude tím určujícím, co bude o výstavbě elektrolyzérů v následující dekádě rozhodovat. Podobně jako jsou preferované obnovitelné zdroje pro výrobu elektřiny zahrnuty do schémat různých modelů státní či veřejné podpory, bude i výroba vodíku z OZE stejným způsobem iniciována. Mezi první vlaštovky tohoto přístupu patří například zvýhodnění odběratelů elektřiny pro výrobu vodíku v Německu tím, že jim není účtován příspěvek na OZE (pokud dodrží omezení na nižší využití elektrolyzérů než 5 000 hodin za rok). Legislativci tímto způsobem mohou částečně podpořit výrobu vodíku z elektřiny, a zároveň technologii udržet v původním modelu akumulace přebytečné elektřiny.

Podobně jako v případě solárních panelů i u alkalických či membránových elektrolyzérů se očekává s komerčním využitím výrazný pokles investičních nákladů a mírný posun v účinnosti výroby vodíku. Dnešní membránové elektrolyzéry (Proton Exchange Membrane) nabízí početná skupina výrobců (ITM Power, McPhy, NEL, Siemens, Hydrogenics a další). Obsáhlé rešerše v rámci projektu Store&Go ukazují očekávaný pokles investičních nákladů z dnešních 0,89 mil. EUR na instalovaný 1 MW kapacity elektrolyzérovi (při jeho celkové kapacitě 50 MW) na 0,22 mil. EUR/MW v roce 2050. Energetická účinnost elektrolytické výroby vodíku se zvýší z dnešních 5,09 kWh elektřiny potřebné pro výrobu 1 m³ vodíku (asi 69 % účinnost) na 4,54 kWh/m³ (78 % účinnost) v roce 2050.

Hlavním hybatelem snižování nákladů však není pouze technologický rozvoj, ale také rozvíjející se poptávka. Národní laboratoř pro obnovitelnou energii (NREL) spočítala, že škálování procesu výroby elektrolyzačního reaktoru dokáže snížit celkové investiční náklady na méně než třetinu, zvýší-li se výroba z 10 MW na 1 000 MW⁴. Snad i proto se řada vodíkových strategií (včetně té české či evropské) zaměřuje mj. na nastartování poptávky po vodíku. Základní pro uvolnění investic tímto směrem musí být nicméně jasné tržní i regulatorní prostředí

¹ V roce 2020 dosahoval instalovaný výkon těchto zdrojů v celé EU 25 GW.

² Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021): Towards a Climate-Neutral Germany by 2045. How Germany can reach its climate targets before 2050

³ CAPEX ovšem ve výpočtu zahrnuje pouze výdaje na pořízení elektrolyzérovi. Nejsou zde započítány náklady na další prvky celého systému (zásobník, kompresor, transformační a měřicí stanice, náklady na připojení apod.)

⁴ Mayyas, Ahmad, Mark Ruth, Bryan Pivovar, Guido Bender, and Keith Wipke (2018). Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.

upravující jak fungování technologie v rámci celého energetického systému, tak roli jednotlivých členů vznikajícího vodíkového hospodářství. Příkladem budiž nastavení možností pro provozovatele distribučních sítí, případně i přepravních a přenosových soustav, účastnit se procesu skladování energie pomocí technologie P2G. Právě tyto subjekty mají aktuálně nejlepší možnosti, jak efektivně provoz technologie P2G nejen bezpečně testovat, ale také využít pro účinnou akumulaci energie.

Závěrem

- Zdrojová stránka spojená s produkcí elektřiny pro výrobu vodíku elektrolýzou není zatím adekvátně řešena v rámci národních ani evropské vodíkové strategie.
- Bezemisní výroba vodíku si vyžádá masivní investice do zdrojů bezemisní výroby elektřiny – zejména offshore větrných farem (případně fotovoltaiky či jaderné energetiky) kapacitně výrazně převyšujících instalovaný výkon samotných elektrolýzérů.

- Obchodní modely technologie P2G v oblasti regulačních služeb elektrizační soustavy zatím nenacházejí podporu v regulačním prostředí ČR, podobně jako v dalších zemích EU.
- Aktuální návrhy projektů vodíkového hospodářství se zaměřují na zapojení elektrolýzérů pro cílenou výrobu vodíku a jeho další využití, nikoli přednostně na stabilizaci elektrizační soustavy.

Zdroje:

- Mayyas, Ahmad, Mark Ruth, Bryan Pivovar, Guido Bender, and Keith Wipke. 2018. Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-72740. dostupné z <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72740.pdf>
- Innovative large-scale energy storage technologies and Power-to-Gas concepts after optimisation D8.3 Report on the

costs involved with PtG technologies and their potentials across the EU. dostupné z https://www.storeandgo.info/fileadmin/downloads/deliverables_2020/Update/20180424_STOREandGO_D8.3_RUG_accepted.pdf

- Hydrogen fever in EU puts 2024 target of 6-GW electrolyzer capacity in reach. dostupné z <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/070721-hydrogen-fever-in-eu-puts-2024-target-of-6-gw-electrolyzer-capacity-in-reach>
- Towards a Climate-Neutral Germany by 2045 How Germany can reach its climate targets before 2050. dostupné z https://static.agora-energie.wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_213_KNDE2045_Summary_EN_WEB.pdf
- Offshore wind in Europe – key trends and statistics 2020. dostupné z <https://wind-europe.org/intelligence-platform/product/offshore-wind-in-europe-key-trends-and-statistics-2020/>



BAZILSTUDIO

Naše grafické studio Vám nabízí tyto služby:

- Grafický návrh a výroba tiskovin na klíč
- Sazba knih, časopisů a katalogů
- Návrh a tvorba log
- Návrh a výroba Design manuálů
- Grafický design
- Tisk
- Produkce
- Foto na zakázku dle požadavků klienta

Kontakt:
www.bazil.cz
 email: bazil@bazil.cz
 tel.: 00420 603168640

BAZILSTUDIO